

===== EPÓDOC =====

TI - Heat resistant martensitic chromium steel  
 AB - Heat resistant 12% chromium steel, with a tempered martensite structure, has the compsn. (by wt.) 0.05-0.25% C, more than 0.2-1.0% Si, up to 1.0% Mn, more than 1.0-2.0% Ni, 8.0-13.0% Cr, 0.5-2.0% Mo, 0.1-0.3% V, more than 0.3-0.5% total Nb and/or Ta, 0.01-0.2% N, more than 0.7-2.0% W, balance Fe. Also claimed is a turbine part made of the steel.  
 PN - FR2566429 A 19851227  
 AP - FR19850009404 19850620  
 PR - JP19840126480 19840621  
 PA - TOKYO SHIBAURA ELECTRIC CO (JP)  
 IN - KAWAGUCHI KANZI; KAWAI MITSUO; WATANABE OSAMU  
 EC - C22C38/00B ; C22C38/44 ; C22C38/48  
 CT - US2693413 A [X]; FR1140573 A [X]; GB741935 A [X];  
 US3139337 A [A]; CS103710 A [A]; EP0073021 A [A]  
 DT - \*

===== WPI =====

TI - Heat resistant martensitic chromium steel - useful for steam turbine blades and housing bolts  
 AB - DE3522114 Heat resistant 12% chromium steel, with a tempered martensite structure, has the compsn. (by wt.) 0.05-0.25% C, more than 0.2-1.0% Si, up to 1.0% Mn, more than 1.0-2.0% Ni, 8.0-13.0% Cr, 0.5-2.0% Mo, 0.1-0.3% V, more than 0.3-0.5% total Nb and/or Ta, 0.01-0.2% N, more than 0.7-2.0% W, balance Fe.  
 - Also claimed is a turbine part made of the steel.  
 - USE/ADVANTAGE - The steel is esp. useful for the blades and housing bolts of steam turbines. It has improved high temp. creep strength. (0/0)  
 PN - DE3522114 A 19860102 DW198602 021pp  
 - FR2566429 A 19851227 DW198607 000pp  
 - JP61006256 A 19860111 DW198608 000pp  
 PR - JP19840126480 19840621  
 PA - (TOKE ) TOSHIBA KK  
 IN - KAWAGUCHI K; KAWAI M; WATANABE O  
 MC - M27-A04 M27-A04C M27-A04M M27-A04N M27-A04S M27-A04T M27-A04V  
 DC - M27 Q51  
 IC - C22C38/46 ; F01D5/28  
 AN - 1986-008313 [02]

⑬ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

⑪ N° de publication : **2 566 429**

(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

⑫ N° d'enregistrement national : **85 09404**

⑮ Int Cl<sup>o</sup> : C 22 C 38/48; F 01 D 5/28.

⑫ **DEMANDE DE BREVET D'INVENTION**

**A1**

⑫ Date de dépôt : 20 juin 1985.

⑬ Priorité : JP, 21 juin 1984, n° 126 480/84.

⑭ Date de la mise à disposition du public de la  
demande : BOPi « Brevets » n° 52 du 27 décembre 1985.

⑯ Références à d'autres documents nationaux appa-  
rentés :

⑰ Demandeur(s) : *Société dite : KABUSHIKI KAISHA TOS-  
HIBA — JP.*

⑱ Inventeur(s) : *Osamu Watanabe, Mitsuo Kawai et Kanzi  
Kawaguchi.*

⑲ Titulaire(s) :

⑳ Mandataire(s) : *Cabinet Beau de Loménie.*

② Acier résistant à la chaleur Cr-12 et pièce de turbine formée à partir de ce dernier.

⑦ Un acier résistant à la chaleur Cr-12 qui contient de 0,08 à 0,15 % en poids de carbone, de 0,2 à 0,6 % de silicium, de 0,3 à 0,8 % de manganèse, de 1,0 à 1,5 % de nickel, de 9,5 à 11,0 % de chrome, de 0,7 à 1,5 % de molybdène, de 0,15 à 0,27 % de vanadium, de 0,3 à 0,45 % au total de niobium et/ou tantale, de 0,03 à 0,08 % d'azote, de 0,8 à 1,3 % de tungstène, et le reste étant du fer. La résistance à la rupture au fluage de cet acier résistant à la chaleur Cr-12 est plus grande que celle de l'acier résistant à la chaleur Cr-12 de l'art antérieur. Un élément de turbine formé de l'acier résistant à la chaleur Cr-12 de la présente invention possède une résistance suffisante pour être utilisé à une température élevée de 600 à 650 °C.

FR 2 566 429 - A1

La présente invention concerne un acier résistant à la chaleur Cr-12 amélioré du point de vue de la résistance à la rupture en fluage à haute température, une pièce de turbine, telle que des ailettes et des boulons de turbines à vapeur, réalisés à partir de l'acier résistant à la chaleur Cr-12.

Les pressions et températures maximales de la vapeur utilisées habituellement pour le fonctionnement des turbines à vapeur sont respectivement de  $246 \text{ kg/cm}^2$  et de  $566^\circ\text{C}$ . Les pressions et températures de vapeur adoptées peuvent être augmentées pour obtenir une efficacité thermique plus grande. Ces conditions sur la vapeur nécessitent de la part de la matière constituant les pièces d'une turbine d'être résistante à haute température. Pour améliorer les paramètres de la vapeur, des matériaux ayant une résistance à haute température accrue, ont été effectivement développés. Un tel développement est essentiel pour les ailettes et les boulons, aussi bien que pour des éléments fondamentaux de grande taille tels que le rotor et le carter.

Les ailettes d'une turbine à vapeur sont soumises de façon continue à une force centrifuge créée par la rotation à grande vitesse. Si la matière qui les constitue manque de résistance à haute température, les ailettes peuvent alors subir une déformation par fluage et se cintrer vers l'arrière contre le rotor, gênant les parties fixes à leurs bords. Les boulons utilisés pour fermer les carters supérieur et inférieur sont initialement soumis à une pression de serrage fixée attribuée aux forces élastiques. Pressés normalement par une pression de vapeur qui agit sur le carter, les boulons subissent cependant une déformation par fluage telle que la pression de serrage est réduite de façon régulière. Si la pression de serrage devient trop basse pour maintenir les conditions d'étanchéité du carter, causant ainsi des fuites de vapeur, ou si la déformation par fluage augmente, les boulons peuvent alors parfois se rompre.

Ainsi, il est nécessaire que le matériau des ailettes et des boulons utilisé dans les parties à haute température des turbines à vapeur, possède un excellent comportement au fluage, et l'acier

résistant à la chaleur du type acier Cr-12 a été naturellement employé pour ce matériau en question. Généralement, l'acier résistant à la chaleur Cr-12 est moins cher et plus dur à température normale que n'importe quel autre acier résistant à la chaleur avec la même résistance à haute température. De plus, ce dernier possède une plus grande aptitude à l'amortissement qui est une propriété essentielle d'un matériau pour ailettes. Afin d'améliorer la résistance à haute température de l'acier résistant à la chaleur Cr-12 sans altérer ses propriétés fondamentales, divers alliages sont ajoutés au métal pour renforcer la structure martensitique et pour stabiliser les carbonitrures, permettant ainsi de maintenir une résistance à haute température et une stabilité de structure avant des emplois de longue durée à haute température. Du point de vue de l'usinage, la ségrégation des alliages abaisse directement la résistance à haute température du métal et, en même temps, produit une ferrite indésirable autour des constituants de l'alliage. On introduit donc un procédé de refusion pour éviter une telle ségrégation dans l'homogénéisation de la structure.

De façon classique, on utilise comme matériau pour les ailettes et les boulons des turbines à vapeur, l'acier Nb-V-Mo-Cr-12 appelé H46 (Jessop-Saville H46 de Jessop-Saville Ltd ou Mel-Trol H46 de Carpenter Steel Company) et l'acier W-V-Mo-Cr-12 appelé 422 (Crucible 422 de Crucible Steel Company of America). Tous ces matériaux, ont cependant un temps de rupture par fluage d'environ 200 à 300 h à 600°C et avec une charge de 30 kg/mm<sup>2</sup>. Une telle résistance en fluage ne remplit pas la condition nécessaire à l'augmentation de la température et de la pression de vapeur afin d'améliorer l'efficacité thermique. Ainsi, a-t-on besoin de développer l'acier Cr-12 ayant un comportement au fluage à haute température amélioré.

#### Résumé de l'invention

L'objet de la présente invention est de procurer un acier résistant à la chaleur Cr-12 ayant une résistance à la rupture en fluage plus élevée que les aciers résistants à la chaleur

Cr-12 de l'art antérieur et adapté pour être utilisé comme matériau dans les pièces de turbines à vapeur, notamment des ailettes et boulons, et une pièce de turbine formée à partir de ces derniers.

- 5            Afin de réaliser l'objectif précédent, un acier résistant à la chaleur Cr-12 selon la présente invention possède essentiellement une teneur en carbone de 0,05 à 0,25 % en poids, une teneur en silicium de 0,2 à 1,0 % en poids, une teneur en manganèse de 1,0 % au moins en poids, une teneur en nickel de 0,1 à 2,0 % en poids, une teneur en chrome de 8,0 à 13,0 % en poids, une teneur en molybdène de 0,5 à 2,0 % en poids, une teneur en vanadium de 0,1 à 0,3 % en poids, des teneurs en niobium et/ou tantale de 0,3 % à moins de 0,5 % en poids au total, une teneur d'azote de 0,01 à 0,2 % en poids, une teneur en tungstène de 0,7 à 2,0 % en poids, et une teneur en fer constituant principalement la fraction restante, et cet acier possède pratiquement une structure martensitique revenue.

- 20            Le temps de rupture au fluage de l'acier résistant à la chaleur Cr-12 selon la présente invention est plus long que ceux des aciers résistants à la chaleur Cr-12 de l'art antérieur. De plus, les propriétés mécaniques de l'acier résistant à la chaleur de la présente invention ne sont pas altérées même à température ambiante, de telle sorte qu'il peut servir comme matériau très efficace pour des éléments tels que des ailettes et des boulons de carter de turbines à vapeur, qui doivent supporter des efforts à haute température (600 à 650°C). De plus, une pièce de turbine réalisée à partir de l'acier résistant à la chaleur Cr-12 de la présente invention peut être assez résistante pour supporter un emploi à haute température, de 600°C ou plus, en garantissant un service à haute température amélioré.

- 30            Description détaillée de l'invention

- Un acier résistant à la chaleur Cr-12 selon la présente invention est développé comme aboutissement d'une étude systématique de l'acier Nb-V-Mo-Cr-12 et de l'acier W-Nb-V-Mo-Cr-12 en tant qu'aciers résistants à la chaleur Cr-12 de l'art antérieur.

Dans le procédé de développement de l'acier selon la présente invention, des composants d'alliage, comprenant les carbone, silicium, manganèse, nickel, chrome, molybdène, vanadium, niobium, tantale, azote, et tungstène, sont examinés et analysés en détail pour leur influence sur la résistance à la rupture en fluage de l'acier. Aussi, des essais métallographiques et des études sont réalisés de crainte que sa ductilité et sa dureté soient inférieures à celle des aciers résistants à la chaleur Cr-12 de l'art antérieur.

10 Les résultats de l'étude sont donnés comme suit :

(1) Carbone (C)

Le carbone sert à stabiliser la phase austénitique du métal au moment de la trempe et à donner des carbures améliorant ainsi la résistance à la rupture en fluage de l'acier. Pour  
15 atteindre cet objectif, la teneur en carbone doit être de 0,05 % ou plus. Si la teneur en carbone excède 0,25 %, les carbures produits sont cependant si nombreux que la résistance à la rupture en fluage en est réduite. Ainsi, la teneur en carbone ira de 0,05 à 0,25 %, de préférence de 0,08 à 0,15 %.

20 (2) Silicium (Si)

Le silicium est un élément essentiel en tant que désoxydant du procédé de refusion. Si le silicium est présent en une quantité de 0,2 % ou moins, il ne pourra pas remplir sa fonction. Si sa teneur excède 1,0 %, on crée cependant une phase à ferrite- $\delta$  de  
25 faible résistance. Ainsi, la teneur en silicium ira de 0,2 à 1,0 %, de préférence de 0,21 à 0,6 %.

(3) Manganèse (Mn)

Le manganèse est un élément qui, comme le silicium, doit être ajouté comme désoxydant et désulfurisant dans le procédé de  
30 refusion. En ajoutant trop de manganèse, on abaisse la résistance à la rupture en fluage du métal. Ainsi, la teneur en manganèse doit être limitée à 1,0 %, de préférence de 0,3 à 0,8 %.

(4) Nickel (Ni)

Le nickel est un élément primordial de l'austénite qui  
35 sert à stabiliser la phase austénitique au moment de la trempe et à prévenir la production de la phase à ferrite- $\delta$ . Si le nickel est

présent en une quantité inférieure de 1,0 % ou moins, il ne pourra pas remplir sa fonction. Si sa teneur excède 2,0 %, la résistance à la rupture en fluage du métal sera cependant extrêmement réduite, et la température  $A_{c1}$  sera inévitablement abaissée. Ainsi, la teneur en nickel ira de 1,0 % à 2,0 %, de préférence jusqu'à 1,5 %.

(5) Chrome (Cr)

Le chrome est un élément essentiel pour améliorer la résistance à la rupture en fluage de l'acier, en servant à prévenir l'oxydation à température élevée. Pour obtenir ces effets, la teneur en chrome doit être de 8,0 % ou plus. Si la teneur excède 13,0 %, on produira cependant la phase à ferrite- $\delta$ . Ainsi, la teneur en chrome ira de 8,0 à 13,0 %, de préférence de 9,5 à 12,0 % et encore plus préférable jusqu'à 11 %.

(6) Molybdène (Mo)

Le molybdène est un élément efficace pour l'amélioration de la résistance à la rupture en fluage de l'acier et sa protection contre une fragilisation au revenu. Ces effets demandent une teneur en molybdène de 0,5 % ou plus. Si la teneur excède 2,0 %, on produit cependant la phase à ferrite- $\delta$ , et la résistance à la rupture en fluage ainsi que la dureté du métal seront réduites. Ainsi, la teneur en molybdène ira de 0,5 à 2,0 %, de préférence de 0,7 à 1,5 %.

(7) Vanadium (V)

Le vanadium est un élément efficace pour l'amélioration de la résistance à la rupture en fluage de l'acier. Cet effet pourra être obtenu seulement si on ajoute 0,1 % ou plus de vanadium. Si la teneur en vanadium excède 0,3 %, la ferrite- $\delta$  est cependant susceptible d'apparaître. Ainsi, la teneur en vanadium ira de 0,1 à 0,3 %, de préférence de 0,15 à 0,27 %.

(8) Niobium (Nb) et Tantale (Ta)

Le niobium et le tantale servent tous les deux à produire une structure à grains fins, augmentant ainsi la ductilité et la dureté de l'acier. Le niobium et le tantale servent également à former des carbures et des carbonitrures, qui sont précipités de façon dispersée comme des particules fines dans une matrice,

améliorant grandement par là le comportement au fluage de l'acier. Pour obtenir ces effets, il est nécessaire que la ou les quantités de niobium et/ou tantale soient supérieures à 0,3 % au total. Si la quantité ou les quantités dépassent 0,5 % au total, on produira cependant la ferrite- $\delta$ , et les carbures et carbonitrures grossiers indésirables seront précipités. Ainsi, la ou les teneur(s) en niobium et/ou tantale iront de 0,3 à 0,5 % au total, de préférence jusqu'à 0,45 %.

(9) Azote (N)

L'azote est un élément qui peut effectivement restreindre la production de la phase de ferrite- $\delta$ , et qui est essentiel pour la formation de carbonitrures de niobium et de tantale. Ces fonctions nécessitent l'addition de 0,01 % ou plus d'azote. Si la teneur d'azote excède 0,2 %, des pores peuvent cependant se former dans le métal. Ainsi, la teneur d'azote ira de 0,01 à 0,2 %, de préférence de 0,03 à 0,08 %.

(10) Tungstène (W)

Le tungstène sert à améliorer la résistance à la rupture en fluage de l'acier. Cet effet nécessite une teneur en tungstène supérieure à 0,7 %. Si la teneur excède 2,0 %, on produira inévitablement la ferrite- $\delta$ . Ainsi, la teneur en tungstène ira de 0,7 à 2,0 %, de préférence de 0,8 à 1,5 % et mieux encore jusqu'à 1,3 %.

L'acier résistant à la chaleur Cr-12 selon la présente invention et ayant la composition chimique décrite ci-dessus, présente un comportement au fluage satisfaisant à une température allant jusqu'à environ 650°C, et n'est en aucun cas inférieur aux aciers classiques en ce qui concerne les autres propriétés mécaniques. En conséquence, l'acier résistant à la chaleur Cr-12 de la présente invention est un matériau convenable pour des éléments de turbines à vapeur et des éléments similaires. Une telle application nécessite cependant, de la part du métal, une bonne résistance à la fatigue et une dureté, aussi bien qu'une résistance au fluage satisfaisante. Afin de remplir ces conditions, l'acier résistant à la chaleur Cr-12 de la présente invention est constitué pratiquement d'une structure martensitique revenue ne contenant pas de ferrite. En ce qui



concerne le comportement au fluage, il est préférable que le métal ne contienne pas de ferrite, bien qu'une teneur en ferrite de 5 % ou moins soit négligeable.

On peut éviter que la ferrite soit produite dans la structure du métal en ajustant les quantités d'éléments d'alliage ajoutées parmi les gammes de teneur précitées. Pour éviter la production de ferrite, même avec des températures de trempe plus élevées, comme mentionné précédemment, il est préférable que l'équivalent de chrome donné par la relation suivante aille de 6 à 11, de préférence de 8 à 11 et encore plus préférable de 9 à 10 : équivalent de chrome =  $-40 \times [\%C] - 30 \times [\%N] - 2 \times [\%Mn] - 4 \times [\%Ni] + [\%Cr] + 4 \times [\%Mo] + 6 \times [\%Si] + 11 \times [\%V] + 5 \times [\%Nb] + 2,5 \times [\%Ta] + 1,5 \times [\%W]$ .

L'acier résistant à la chaleur Cr-12 de la présente invention composé de cette manière est chauffé à une température de 1050 à 1150°C pour être austénisé, refroidi rapidement pour la trempe, puis revenu à une température de 600 à 700°C. Ainsi, l'acier a pratiquement une structure martensitique revenue. Avant le revenu à la température allant de 600 à 700°C, le métal peut être revenu à l'avance entre 500 et 600°C pour dissoudre l'austénite retenu. Aussi, le revenu peut donc être effectué deux fois à des températures différentes dans la gamme de 600 à 700°C.

Si le métal est austénisé et trempé à une haute température allant de 1050 à 1150°C, comme décrit précédemment, des carbures, des nitrures ou carbonitrures de niobium, tantale et des produits similaires peuvent être précipités sous forme de particules fines, homogènes et dans de plus grandes quantités. Si la température d'austénisation adoptée va de 1050 à 1150°C, les grains du cristal résultant d'austénite ne seront jamais gros. Si l'équivalent de chrome est compris dans la gamme précitée, on évitera aussi la production de ferrite.

La fabrication de l'acier résistant à la chaleur Cr-12 selon la présente invention et des ailettes, boulons et autres éléments de turbine réalisés à partir de ces derniers va maintenant être décrite brièvement.

Premièrement, des matériaux mélangés suivant les gammes de teneur définies selon la présente invention sont fondus à l'atmosphère ambiante ou sous vide en utilisant un fourneau convenable, tel

qu'un fourneau électrique. Après la fusion, le métal en fusion résultant est moulé en un lingot ayant une taille et une forme convenable. L'homogénéisation des composants et la réduction des impuretés peuvent effectivement être réalisées par une refusion supplémentaire à l'arc ou une refusion sous laitier électroconducteur du lingot.

Par la suite, le lingot est chauffé à une température d'environ 1150 à 1200°C dans un four de chauffage, tel qu'un four à mazout, un four électrique, ou un four à gaz, puis est forgé par une technique classique, par exemple, estampage à chaud ou martelage.

L'acier résistant à la chaleur Cr-12 forgé de cette manière est chauffé jusqu'à une température de 1050 à 1150°C dans le four de chauffage. Une fois que toute la structure est uniformément austénisée à la température maintenue dans cette gamme, elle est refroidit rapidement pour la tremper en étant immergée dans de l'huile ou de l'eau ou par soufflage.

Ensuite, l'acier résistant à la chaleur Cr-12 est chauffé et maintenu à une température de 600 à 700°C dans le four de chauffage pour être revenu, et acquérir ainsi une structure martensitique revenue. Afin de dissoudre la phase austénitique retenue existant au moment de la trempe, le métal peut être revenu à la température de 600 à 700°C après avoir été préalablement chauffé et maintenu à une température de 500 à 600°C qui est inférieure à la température de revenu. D'une autre façon, le revenu peut s'effectuer deux fois à des températures différentes comprises dans l'intervalle de 600 à 700°C.

L'acier résistant à la chaleur Cr-12 obtenu ainsi est découpé en une forme désirée, par exemple, celle d'une pièce de turbine. Si la pièce de turbine est une ailette, un larget forgé peut être découpé dans une taille convenable, chauffé jusqu'à une température d'environ 1100 à 1200°C, puis estampé en forme d'ailette. Par la suite, la structure sous forme d'ailette peut être trempée, revenue, et usinée pour obtenir la taille finale.

Des exemples selon la présente invention vont être décrits comparés à des références. Les exemples 1 à 4 sont des éprouvettes préparées conformément aux gammes de teneur définies selon l'invention, tandis que les témoins 1 et 2 sont des éprouvettes dont les compositions ne sont pas conformes aux gammes de teneur. Les témoins 1 et 2 correspondent respectivement aux aciers classiques H46 et 422.

Tableau 1

	Eléments d'alliages (% en poids), fer (reste)										
	No.	C	Si	Mn	Cr	Mo	V	Ni	Nb	Ta	N
Exemples	1	0,13	0,28	0,60	10,7	1,20	0,23	1,18	0,33	-	0,95 0,06
	2	0,12	0,29	0,64	10,6	1,17	0,22	1,25	0,40	-	0,91 0,06
	3	0,12	0,28	0,58	10,8	1,19	0,24	1,31	0,20	0,15	0,90 0,06
	4	0,12	0,31	0,61	11,0	1,20	0,22	1,25	-	0,38	0,88 0,07
Témoins	1	0,17	0,38	0,61	11,0	1,08	0,22	0,54	0,45	-	- 0,05
	2	0,25	0,38	0,66	11,7	1,05	0,24	0,68	-	-	0,92 0,02

Tableau 2

		Comportement à la tension TA			Temps de rupture au fluage (heures)	
		Résistance à la tension $\text{kg/mm}^2$	Elongation %	Striction %	Pression appliquée à 600°C $30 \text{ kg/mm}^2$	Pression appliquée à 650°C $20 \text{ kg/mm}^2$
Exemples	1	103,9	21,2	62,4	1103,0	590,4
	2	102,7	21,2	62,0	1005,4	529,8
	3	104,3	20,6	61,6	980,7	572,0
	4	102,5	22,0	62,0	908,5	485,5
Témoins	1	107,5	14,7	53,0	314,5	158,6
	2	106,0	13,3	45,2	197,0	110,1

Des matériaux mélangés suivant les compositions d'alliage représentées dans les colonnes, par exemple 1 à 4 et les témoins 1 et 2 du tableau 1, sont fondus dans un four de fusion sous vide à haute fréquence. Des alliages fondus des compositions particulières sont moulés sous pression en matrices à fondre en lingots. En mélangeant les métaux, on ajoute de l'azote en mélangeant un alliage de base du type N-Cr-Fe. puis, après avoir arasées leur surface par usinage, les lingots sont introduits dans un four à mazout, chauffés jusqu'à 1200°C, et martelés en ronds de 30 mm de diamètre.

Les ronds obtenus de cette manière sont découpés individuellement en une certaine longueur pour constituer des éprouvettes utilisées dans chacun des essais mentionnés par la suite, et chauffés et maintenus à une température de 1100°C dans un four électrique pendant 2 h. Ensuite, les ronds sont immergés dans de l'huile à la température ambiante pour être trempés, puis chauffés et maintenus à 650°C dans le four électrique pendant 3 h pour être revenus.

Après le traitement thermique, les matériaux sont usinés en éprouvette, qui sont utilisés pour des essais de tension et des tests de rupture au fluage. Les résultats de ces essais sont représentés sur le tableau 2. Les essais de tension sont effectués à température ambiante. Le tableau 2 présente la résistance à la traction, l'élongation et la striction. Les tests de rupture au fluage sont réalisés sous deux conditions différentes de température et de charge. Le tableau 2 représente les temps de rupture (heures) sous les diverses conditions.

Comme on peut le voir à partir des résultats de l'essai présenté sur le tableau 2, les exemples 1 à 4 de l'acier résistant à la chaleur Cr-12 selon la présente invention présentent un meilleur comportement à la rupture au fluage pour l'une et l'autre des températures 600°C et 650°C, que le témoin 1 et 2. De plus, les essais de tension effectués à température ambiante (TA) indiquent que les exemples 1 à 4 sont pratiquement équivalents aux témoins 1 et 2 du point de vue de la résistance à la tension et légèrement meilleurs en ce qui concerne l'élongation et la striction.

Ainsi, l'acier résistant à la chaleur Cr-12 de la présente invention possède un meilleur comportement au fluage sans que sa ductilité et sa dureté ne soient altérées à température ambiante, et peut rendre de grands services comme matériau pour des pièces de

5. turbines, tels que des ailettes et des boulons de turbines à vapeur.

REVENDICATIONS

1. Acier résistant à la chaleur Cr-12, caractérisé en ce qu'il comprend essentiellement :

- 5 une teneur en carbone de 0,05 à 0,25 % en poids ;
- une teneur en silicium de 0,2 à 1,0 % en poids ;
- une teneur en magnésium de 1,0 % ou moins en poids ;
- une teneur en nickel de 1,0 à 2,0 % en poids ;
- une teneur en chrome de 8,0 à 13,0 % en poids ;
- une teneur en molybdène de 0,5 à 2,0 % en poids ;
- 10 une teneur en vanadium de 0,1 à 0,3 % en poids ;
- des teneurs en niobium et/ou tantale de 0,3 % à 0,5 % en poids au total ;
- une teneur en azote de 0,01 à 0,2 % en poids ;
- une teneur en tungstène de 0,7 à 2,0 % en poids ; et
- 15 une teneur en fer constituant principalement le reste ;
- ledit acier résistant à la chaleur Cr-12 ayant pratiquement une structure martensitique revenue.

2. Acier résistant à la chaleur Cr-12 selon la revendication 1, caractérisé en ce que ladite teneur en carbone va de 0,08 à 0,15 % en poids, ladite teneur en silicium va de 0,21 à 0,6 % en poids, ladite teneur en manganèse de 0,3 à 0,8 %, ladite teneur en nickel de 1,0 à 1,5 %, ladite teneur en chrome de 9,5 à 12,0 %, ladite teneur en molybdène de 0,7 à 1,5 %, ladite teneur en vanadium de 0,15 à 0,27 %, lesdites teneurs en niobium et/ou tantale de 0,3 à 0,45 % au total, ladite teneur en azote de 0,03 à 0,08 %, et ladite teneur en tungstène de 0,8 à 1,5 %.

3. Acier résistant à la chaleur Cr-12 selon la revendication 2, caractérisé en ce que ladite teneur en chrome va de 9,5 à 11,0 % en poids, et ladite teneur en tungstène de 0,8 à 1,3 %.

30 4. Acier résistant à la chaleur Cr-12 selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'équivalent de chrome donné par la relation suivante va de 6 à 11 : équivalent de chrome =  $-40 \times [\%C] - 30 \times [\%N] - 2 \times [\%Mn] - 4 \times [\%Ni] + [\%Cr] + 4 \times [\%Mo] + 6 \times [\%Si] + 11 \times [\%V] + 5 \times [\%Nb] + 2,5 \times [\%Ta] + 1,5 \times [\%W]$ .

5. Acier résistant à la chaleur Cr-12 selon la revendication 2, caractérisé en ce que l'équivalent de chrome donné par la relation suivante va de 8 à 11 : équivalent de chrome =  $-40 \times [\%C] - 30 \times [\%N] - 2 \times [\%Mn] - 4 \times [\%Ni] + [\%Cr] + 4 \times [\%Mo] + 6 \times [\%Si] + 11 \times [\%V] + 5 \times [\%Nb] + 2,5 \times [\%Ta] + 1,5 \times [\%W]$ .

6. Acier résistant à la chaleur Cr-12 selon la revendication 3, caractérisé en ce que l'équivalent de chrome donné par la relation suivante va de 9 à 10 : équivalent de chrome =  $-40 \times [\%C] - 30 \times [\%N] - 2 \times [\%Mn] - 4 \times [\%Ni] + [\%Cr] + 4 \times [\%Mo] + 6 \times [\%Si] + 11 \times [\%V] + 5 \times [\%Nb] + 2,5 \times [\%Ta] + 1,5 \times [\%W]$ .

7. pièce de turbine qui est formée d'un acier résistant à la chaleur Cr-12, caractérisée en ce que ledit acier comprend essentiellement une teneur en carbone de 0,05 à 0,25 % en poids, une teneur en silicium de 0,2 à 1,0 % en poids, une teneur en manganèse de 1,0 % ou moins en poids, une teneur en nickel de 1,0 à 2,0 % en poids, une teneur en chrome de 8,0 à 13,0 % en poids, une teneur en molybdène de 0,5 à 2,0 % en poids, une teneur en vanadium de 0,1 à 0,3 % en poids, des teneurs en niobium et/ou tantale de 0,3 à 0,5 % en poids au total, une teneur en azote de 0,01 à 0,2 % en poids, une teneur en tungstène de 0,7 à 2,0 % en poids, et une teneur en fer constituant principalement le reste, et ayant pratiquement une structure martensitique revenue.

8. Pièce de turbine selon la revendication 7, caractérisée en ce que ladite pièce de turbine est une ailette de turbine, dans laquelle ladite teneur en carbone va de 0,08 à 0,15 % en poids, ladite teneur en silicium de 0,21 à 0,6 %, ladite teneur en manganèse de 0,3 à 0,8 %, ladite teneur en nickel de 1,0 à 1,5 %, ladite teneur en chrome de 9,5 à 12,0 %, ladite teneur en molybdène de 0,7 à 1,5 %, ladite teneur en vanadium de 0,15 à 0,27 %, lesdites teneurs en niobium et/ou tantale de 0,3 à 0,45 % au total, ladite teneur en azote de 0,03 à 0,08 %, et ladite teneur en tungstène de 0,8 à 1,5 %.

9. Pièce de turbine selon la revendication 7, caractérisée en ce que ladite pièce de turbine est un boulon utilisé dans une turbine, et dans lequel ladite teneur en carbone va de 0,08 à 0,15 %



5 en poids, ladite teneur en silicium de 0,21 à 0,6 %, ladite teneur en manganèse de 0,3 à 0,8 %, ladite teneur en nickel de 1,0 à 1,5 %, ladite teneur en chrome de 9,5 à 12,0 %, ladite teneur en molybdène de 0,7 à 1,5 %, ladite teneur en vanadium de 0,15 à 0,27 %, lesdites teneurs en niobium et/ou tantale de 0,3 à 0,45 % au total, ladite teneur en azote de 0,03 à 0,08 %, et ladite teneur en tungstène de 0,8 à 1,5 %.

10 10. Pièce de turbine selon la revendication 8, caractérisée en ce que ladite teneur en chrome va de 9,5 à 11,0 % en poids, et ladite teneur en tungstène de 0,8 à 1,3 %.

11. Pièce de turbine selon la revendication 9, caractérisée en ce que ladite teneur en chrome va de 9,5 à 11,0 % en poids, et ladite teneur en tungstène de 0,8 à 1,3 %.